

ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF LITHIUM-ION BATTERY UNDER ELEVATED TEMPERATURE

Barbora Kulíková

Master Degree Programme (5.), FEEC BUT

E-mail: xkulik03@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Bača

E-mail: baca@feec.vutbr.cz

Abstract: This article presents a topic of the elevated temperature influence on lithium-ion accumulators. The theoretical part of the paper focuses on the basic principles of lithium-ion batteries, their advantages and influence of the temperature on their functionality. The experimental part deals with three different experiments comparing measured and manufacturers' parameters, and examining the influence of the temperature and current on a capacity along with charging and discharging characteristics.

Keywords: Accumulators, lithium-ion batteries, capacity, temperature, charging characteristics, discharging characteristics

1 ÚVOD

Lithium-iontové baterie jsou po olověných akumulátorech nejpobulárnější a nejvyužívanější typy akumulátorů vůbec kvůli své vysoké energetické hustotě, malému samovybíjení a nulovému paměťovému efektu. Jejich využití je široké a lze je najít například v běžných elektrických zařízeních v domácnosti a přenosných elektronických zařízeních. Stále více je však pro ně nacházeno uplatnění například v elektrických vozidlech, armádě či při vesmírném výzkumu.

2 NABÍJENÍ LITHIUM-IONTOVÉHO AKUMULÁTORU

Lithiové baterie jsou nabíjeny standardně z externího zdroje napětí s omezením proudu. Nabíjecí napětí u tohoto typu akumulátoru musí být dodrženo, jelikož v opačném případě i malé překročení o 30–50 mV zkracuje životnost článku a při vyšším překročení napětí dochází k uvolňování CO₂ a zvyšování tlaku akumulátoru. Maximální nabíjecí napětí záleží na výrobci, ale většinou bývá 4,1 či 4,2 V a dodržení přesnosti by mělo být s odchylkou maximálně ± 1 %. Maximální nabíjecí proud je potřeba omezit a výrobci jej uvádějí od 0,1 do 2násobku kapacity baterie [1].

Dalším parametrem, který je sledován při procesu nabíjení a vybíjení, je teplota baterie. Ta by neměla být vyšší vůči okolní teplotě více než o 5–10 °C. Pokud se baterie zahřívá, značí to zvýšení vnitřního odporu a k pravděpodobnému zhoršení kondice, protože nabíjení Li-ion baterií je proces s velkou účinností, při kterém by k zahřívání docházet nemělo. U některých typů akumulátorů je nutno se vyvarovat také příliš nízkých teplot.

Teplotní závislost se objevuje při nabíjení i vybíjení. Optimální teplota pro správnou funkčnost baterie se udává mezi 20 a 25 °C. Teplotní rozsah baterií je většinou -20–60 °C a při nabíjení 0–45 °C. Extrémní hodnoty mohou způsobit značné problémy s kapacitou a životností. Baterie v příliš nízkých teplotách dodávají nižší proud a jejich kapacita může klesnout až k 53 % původní kapacity. Naopak při vysokých teplotách se zkracuje jejich životnost. Výrobci vždy uvádějí rozsah teplot, při kterých baterie nejlépe pracují [2] [3].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experiment byl proveden na dvou sadách 12 baterií od 4 různých výrobců. Jednalo se o baterie Molicel (INR-18650A 2,5Ah), SAMSUNG (INR18650-25R, 2,5Ah), Sony (US18650VTC6, 3Ah) a LG (INR18650HG2, 3Ah).

3.1 OVĚŘENÍ FUNKČNÍCH PARAMETRŮ AKUMULÁTORU A POROVNÁNÍ S KATALOGOVÝM LISTEM VÝROBCE

V tomto experimentu byly ověřovány funkční parametry baterií a následně porovnávány s informacemi od výrobců. Vybíjení probíhalo konstantním proudem 1 C (2,5 A) do konečného napětí 2,0 V, nabíjení konstantním proudem 1 C (2,5 A) s napětovou limitací 4,2 V a konečným proudem 50 mA.

Všechny články měly přibližně stejnou kapacitu. Největší rozdíl byl naměřen mezi jednotlivými články LG, který činil 0,0514 Ah, a tedy 1,17 % z kapacity uváděné výrobcem, a také mezi články Molicel, kde rozdíl dosáhl hodnoty 0,0446 Ah, tedy 1,5 % jmenovité kapacity. Vybíjecí charakteristiky baterií se mírně lišily u 3Ah článků, kde došlo ke strmějšímu poklesu napětí. Tyto články se také více ohřívaly vlivem většího vybíjecího proudu. Největší ohřev byl zaznamenán u baterií Sony, nejmenší u baterií Samsung. V tabulce jsou zaznamenány průměrné změny teplot během jednoho cyklu. Po překročení hodnoty napětí 3 V vlivem rostoucího vnitřního odporu začala teplota velmi strmě narůstat.

Tabulka 1: Průměrné oteplení článků během jednoho cyklu vybití a nabití.

Typ článku	Průměrné oteplení článku [°C]
Molicel (INR-18650A; 2,5Ah)	10,751
Samsung (INR18650-25R; 2,5Ah)	9,551
Sony (US18650VTC6; 3Ah)	12,275
LG (INR18650HG2; 3Ah)	10,283

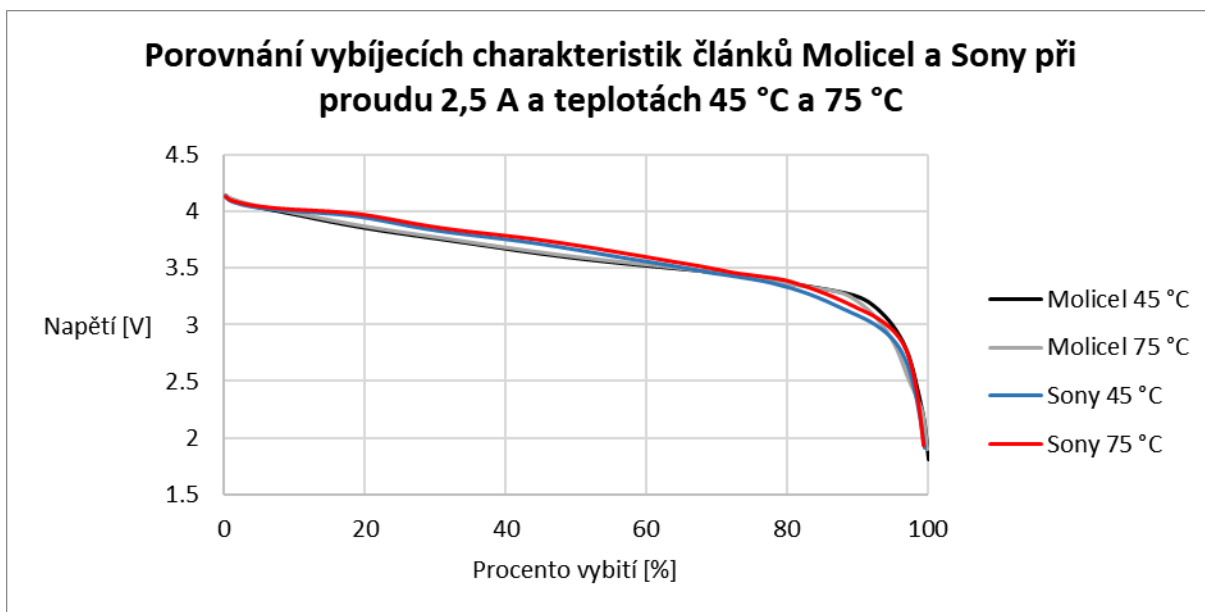
3.2 MĚŘENÍ FUNKČNÍCH PARAMETRŮ AKUMULÁTORŮ PŘI RŮZNÝCH TEPLOTÁCH

Během této části experimentu byly 3 sety baterií z prvního experimentu vloženy do pece a postupně vystaveny teplotám 25, 45, 60 a 75 °C. Vybíjení probíhalo konstantním proudem 1 C (2,5 A) do konečného napětí 2,0 V, nabíjení konstantním proudem 1 C (2,5 A) s napětovou limitací 4,2 V a konečným proudem 50 mA.

U vyšších teplot u 2,5Ah baterií docházelo ke strmějšímu poklesu napětí při vybíjení (viz Obrázek 1). U 3Ah akumulátoru vybíjecí charakteristiky byly za všech teplot obdobné. U baterií Molicel nastal pokles nabíjecí proudové charakteristiky později a byl strmější. Pokles byl závislý na teplotě – čím vyšší teplota, tím nastal později a byl strmější. Největší úbytek kapacity za 8 cyklů při různých teplotách nastal při teplotě 75 °C, a to o 2,42 % u baterií Samsung. V tabulce je zaznamenán průměrný pokles kapacity během 8 cyklů.

Tabulka 2: Průměrný pokles kapacity během 8 cyklů při různých teplotách.

Typ článku	45 °C [%]	60 °C [%]	75 °C [%]
Molicel (INR-18650A; 2,5Ah)	0,318	1,428	2,106
Samsung (INR18650-25R; 2,5Ah)	1,119	1,075	2,424
Sony (US18650VTC6; 3Ah)	0,465	1,379	1,641

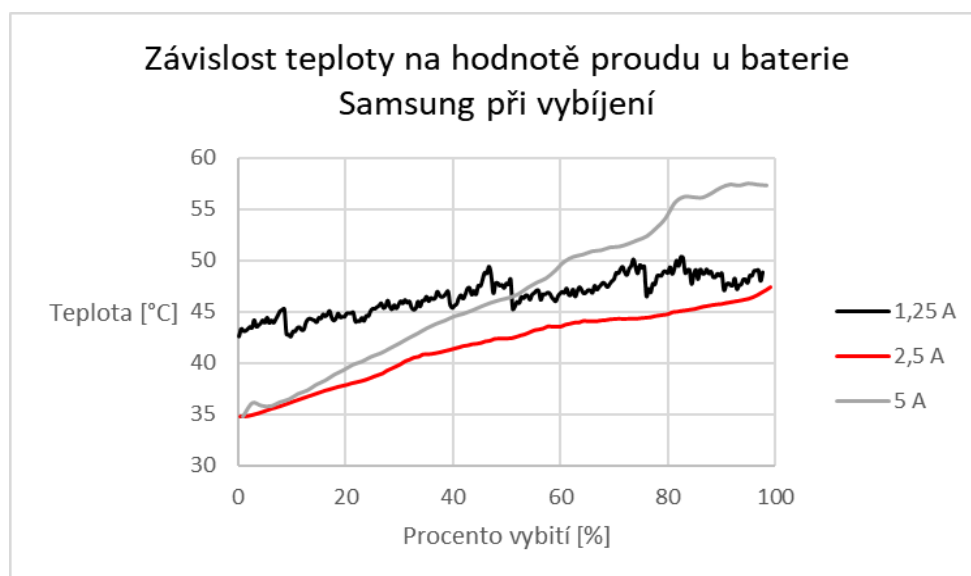


Obrázek 1: Porovnání vybíjecích charakteristik článků MoliceI a Sony při proudu 2,5 A a teplotách 45 °C a 75 °C.

3.3 ZMĚNA TEPLoty ČLÁNKŮ PŘI VYBÍJENÍ A NABÍJENÍ RŮZNÝMI PROUDY

Pro tuto část experimentu byla použita nová sada baterií, která byla postupně vybíjena proudy 0,5 C, 1 C a 2 C do konečného napětí 2,0 V a nabíjena proudem 0,5 C, 1 C a 2 C s napětovou limitací 4,2 V a konečným proudem 50 mA.

Největší nárůst teploty nastal u nejvyšší hodnoty proudu 5 A u baterie Samsung, a to s rozdílem 22,5 °C (viz Obrázek 2). U nejnižší hodnoty proudu 1,25 A došlo u baterie MoliceI k poklesu teploty během vybíjení, zatímco u ostatních baterií se mírně zvýšila o přibližně 4 °C. Vybíjecí křivky u všech baterií byly velmi podobné kromě Sony, které byly u vyšších teplot méně strmé. Největší pokles kapacity během 6 nabíjecích a vybíjecích cyklů nastal ve všech případech u baterií Samsung, a to až o 2,74 % při proudu 1,25 A, o 1,69 % při proudu 2,5 A a 1,72 % při proudu 5 A.



Obrázek 2: Teplotní závislost teploty na proudu u baterií MoliceI.

4 ZÁVĚR

Tento článek se zabývá měřením vlastností lithium-iontových akumulátorů. V experimentu byly použity akumulátory čtyř výrobců: Molicel (INR-18650A; 2,5Ah), Samsung (INR18650-25R; 2,5Ah), Sony (US18650VTC6; 3Ah), LG (INR18650HG2; 3Ah). Popisovaný experiment lze rozdělit do tří částí. V první části jsou změřeny nabíjecí a vybíjecí charakteristiky zkoumaných akumulátorů, které byly následně porovnány s teoretickými průběhy deklarovanými výrobcem. Největší rozdíl naměřených a teoretických charakteristik byl zjištěn u akumulátoru výrobce LG. V druhé části experimentu byly zkoumány vlastnosti akumulátorů při různých teplotách. Akumulátory byly nabíjeny opakovaně v 8 cyklech. Výsledky experimentu jsou shrnuty v Tabulce 1. Největší úbytek kapacity za 8 cyklů při různých teplotách nastal při teplotě 75 °C u baterií Samsung. V poslední části experimentu byla zkoumána závislost teploty nabíjeného akumulátoru při použití různých nabíjecích proudů v rozsahu 1,25 A až 5 A. Získané výsledky odpovídají teoretickému předpokladu a největší oteplení nastává při použití nejvyšších proudů. Vzhledem k provádění měření na třech akumulátorech každého typu bylo během experimentů získáno velké množství dat a závislostí. Z důvodu rozsahu článku a přehlednosti grafů je v článku prezentováno vizuálně jen malé množství výsledků. Více výsledků a vzájemného porovnání akumulátorů různých výrobců bude prezentováno při obhajobě.

REFERENCE

- [1] NEXcell Battery CO.,LTD. *Specification for Li-ion Rechargeable cylindrical battery* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.540-448.1.pdf>
- [2] Li-ion Battery and Gauge Introduction. *Richtek* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.richtek.com/Design%20Support/Technical%20Document/AN024>
- [3] *Lithium Ion Rechargeable Batteries: Technical Handbook* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20090411024100/http://www.sony.com.cn/products/ed/battery/download.pdf>